

Vision Based Navigation Using Unsented Filtering

항공우주공학과
항법제어및응용연구실
김종명(석사과정)

목차

□ 서론

□ 영상 기반 항법

□ Unsented Filtering

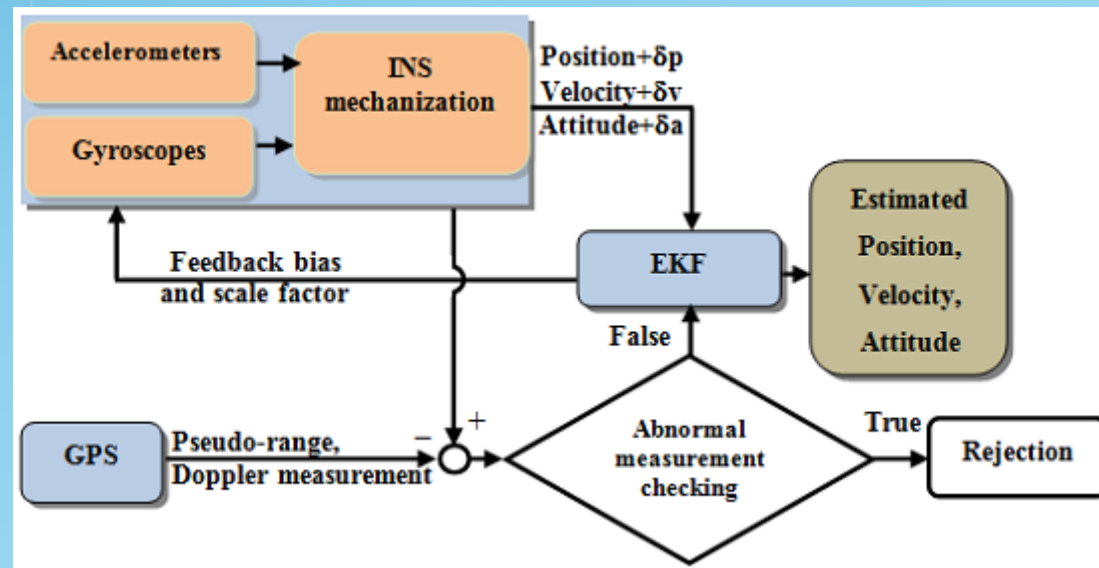
□ 시뮬레이션

□ 결론

서론

□ 연구 배경

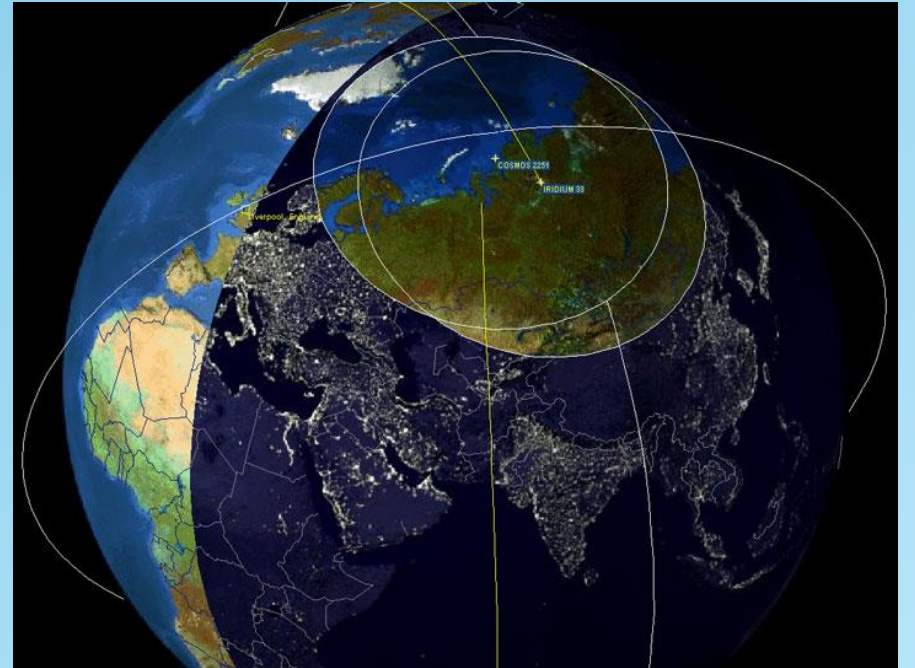
- ✓ 현재 가장 많이 사용되는 항법 시스템은 GPS/INS 통합항법 시스템
- ✓ GPS는 전파방해, 장애물과 같은 외부 간섭에 취약한 단점이 있다.
- ✓ 비전센서, 레이저 등을 활용하여 GPS를 대체하는 연구가 활발히 이루어지고 있다.



서론

□ 연구 배경

- ✓ 실제 항법시스템에서 최적화를 위해 가장 많이 필터는 EKF이다.
- ✓ UKF, PF가 실제 상황에서 쓰이지 못하는 가장 큰 이유는 하드웨어의 성능이 낮으면 실시간성 확보가 어렵기 때문.
- ✓ 최근 실시간성 확보를 위한 연구가 많이 진행 중이다.



서론

□ 연구 목적

1. 비전 센서를 활용한 항법 시스템 구축으로 GPS가 외부 간섭에 의해 사용이 불가능 할 경우를 대비
2. 기존의 UKF를 개선한 UUF(Uncorrelated Unscented Filtering)를 활용하여 계산시간을 줄인다.

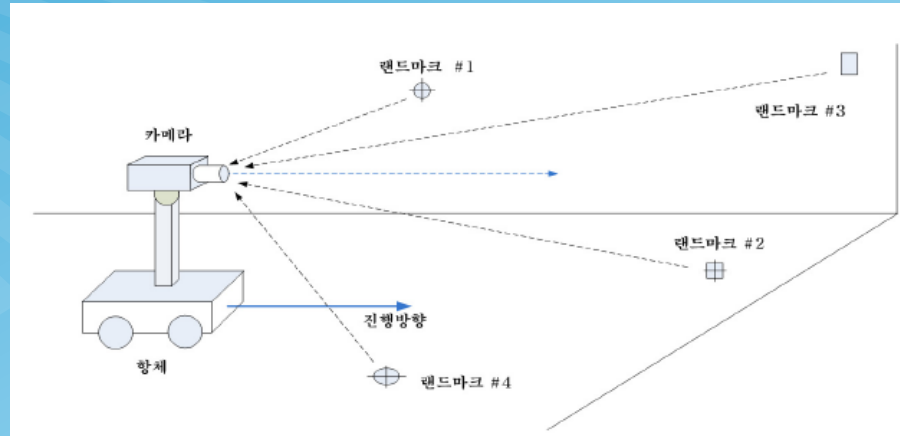
영상 기반 항법

Navigation System Using Vision Sensor

- ✓ 단점 : 계산이 많고, 조도의 영향을 많이 받는다.
- ✓ 장점 : 가볍고, 소모전력이 적으며 가격이 저렴하다.
- ✓ 응용 : 소형 / 무인 항공기, 차량, 이동 로봇 등등

영상 기반 항법

□ 랜드마크 시선각 측정치 기반 비전항법시스템



- ✓ 항체에 설치한 카메라는 랜드마크의 영상을 제공하고, 이를 활용하여 항체의 위치, 속도, 자세를 구한다.
- ✓ 랜드마크는 일정 개수 이상이 있어야 한다.

영상 기반 항법

□ 비전항법방정식

✓ 랜드마크의 시선 벡터를 이용한 3D항법방정식

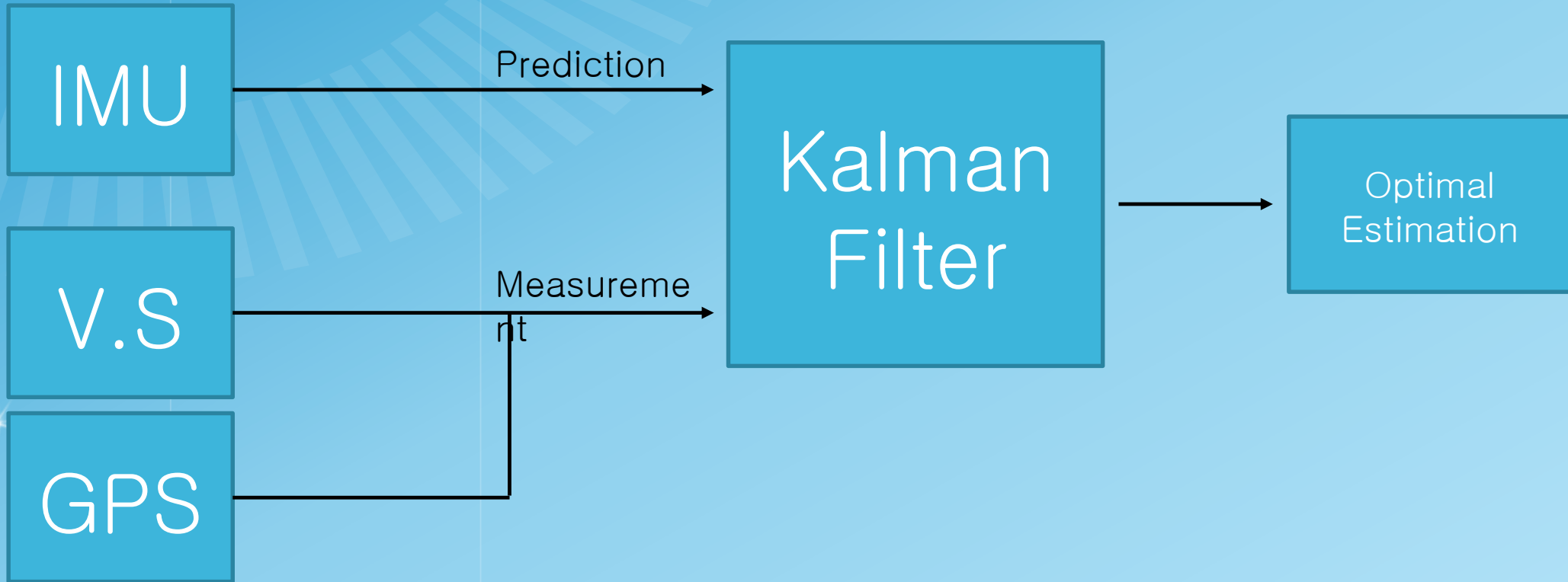
$$p_i^n - p_u^n = k_i C_b^n C_c^b p_i^c$$

$$\longrightarrow \delta p_i^c = -[C_b^n]^T \left(\frac{1}{k_i} \delta p_u^n + \delta C_c^b p_{i0}^c \right)$$

$$\longrightarrow \delta p_i^c = H \begin{bmatrix} \delta \mathbf{P} \\ \delta \boldsymbol{\theta} \end{bmatrix}$$

영상 기반 항법

□ 비전항법시스템



Unscented Filtering

□ Uncorrelated Unscented Filtering

✓ State, Process Err, Covariance

$$\mathbf{x} \equiv \begin{bmatrix} \mathbf{q}_{1-3}^e \\ \mathbf{P}^e \\ \mathbf{V}^e \\ \boldsymbol{\beta}_g \\ \boldsymbol{\beta}_a \\ \mathbf{s}_g \\ \mathbf{s}_a \end{bmatrix} \quad \eta_p = \begin{bmatrix} \eta_g \\ \eta_{gb} \\ \eta_{S_g} \\ \eta_a \\ \eta_{ab} \\ \eta_{S_a} \end{bmatrix}$$

$$Q = \text{diag} \left[\sigma_g^2 I_{3 \times 3} \quad \sigma_{gb}^2 I_{3 \times 3} \quad \sigma_{S_g}^2 I_{3 \times 3} \quad \sigma_a^2 I_{3 \times 3} \quad \sigma_{ab}^2 I_{3 \times 3} \quad \sigma_{S_a}^2 I_{3 \times 3} \right]$$

$$R = \text{diag} \left[\sigma_{GPS_p}^2 I_{3 \times 3} \quad \sigma_{GPS_v}^2 I_{3 \times 3} \quad \sigma_{VS_{att}}^2 I_{3 \times 3} \quad \sigma_{VS_p}^2 I_{3 \times 3} \right]$$

Unscented Filtering

□ Uncorrelated Unscented Filtering

✓ Attitude

$$\dot{\mathbf{q}}^e = \frac{1}{2} \Xi(\mathbf{q}^e) \boldsymbol{\omega}_{eb}^e = \frac{1}{2} \boldsymbol{\Omega}_{eb}^b(\boldsymbol{\omega}_{eb}^e) \mathbf{q}^e$$

✓ INS Equations

$$\dot{\mathbf{P}}^e = \mathbf{V}^e$$

$$\dot{\mathbf{V}}^e = \mathbf{C}_B^E \mathbf{f}_{ib}^b - 2\boldsymbol{\Omega} \mathbf{V}^e - \boldsymbol{\Omega}^2 \mathbf{P}^e + \mathbf{g}^e$$

Unscented Filtering

□ Uncorrelated Unscented Filtering

✓ Sensor Model

$$\begin{aligned}\tilde{\boldsymbol{\omega}}_b &= (\mathbf{I}_{3 \times 3} + \mathbf{S}_g) \boldsymbol{\omega}_b + \boldsymbol{\beta}_g + \boldsymbol{\eta}_g \\ \dot{\boldsymbol{\beta}}_g &= \boldsymbol{\eta}_{gb}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{\mathbf{a}}_b &= (\mathbf{I}_{3 \times 3} + \mathbf{S}_a) \mathbf{a}_b + \boldsymbol{\beta}_a + \boldsymbol{\eta}_{av} \\ \dot{\boldsymbol{\beta}}_a &= \boldsymbol{\eta}_{au}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{\mathbf{P}}_k^e &= \mathbf{P}_k^e + \boldsymbol{\sigma}_p \\ \tilde{\mathbf{V}}_k^e &= \mathbf{V}_k^e + \boldsymbol{\sigma}_V\end{aligned}$$

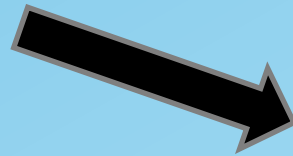
$$\begin{aligned}\tilde{\mathbf{P}}_k^e &= \mathbf{P}_k^e + \boldsymbol{\sigma}_{vs_p} \\ \tilde{\boldsymbol{\theta}}_k &= \tilde{\boldsymbol{\theta}}_k + \boldsymbol{\sigma}_{vs_a}\end{aligned}$$

Unscented Filtering

Uncorrelated Unscented Filtering

✓ The matrix square root

$$\sqrt{P_k} = \text{chol} \left(\begin{bmatrix} P & 0 & 0 \\ 0 & Q & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \right) \in R^{(n+m+l) \times (n+m+l)}$$



$$\sqrt{P_k} = \text{chol} \left(\begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & Q \end{bmatrix} \right) \in R^{(n+m) \times (n+m)}$$

$$\sqrt{M_k} = \text{chol} \left(\begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix} \right) \in R^{(n+l) \times (n+l)}$$

Simulation

- 목적 : UUF와 UKF의 시간 및 오차 비교 시뮬레이션
- 사용 센서 : INS, GPS, VS
- 시간 : 40 sec
- 소프트웨어 : MATLAB

Simulation

□ Sensor Spec.

✓ Gyro

Random Walk	0.035 deg/s
Bias	1 deg/h
Scale Factor Accuracy	100 ppm

✓ Accelerometer

Random Walk	10 μg
Bias	50 μg
Scale Factor Accuracy	100 ppm

Simulation

□ Sensor Spec.

✓ GPS

Random Walk(Position)	10 <i>m</i>
Random Walk(Velocity)	0.1 <i>m/s</i>

✓ Image Sensor

Random Walk(Attitude)	0.1 deg
Random Walk(Position)	3 <i>m</i>

Simulation

□ Sensor Spec.

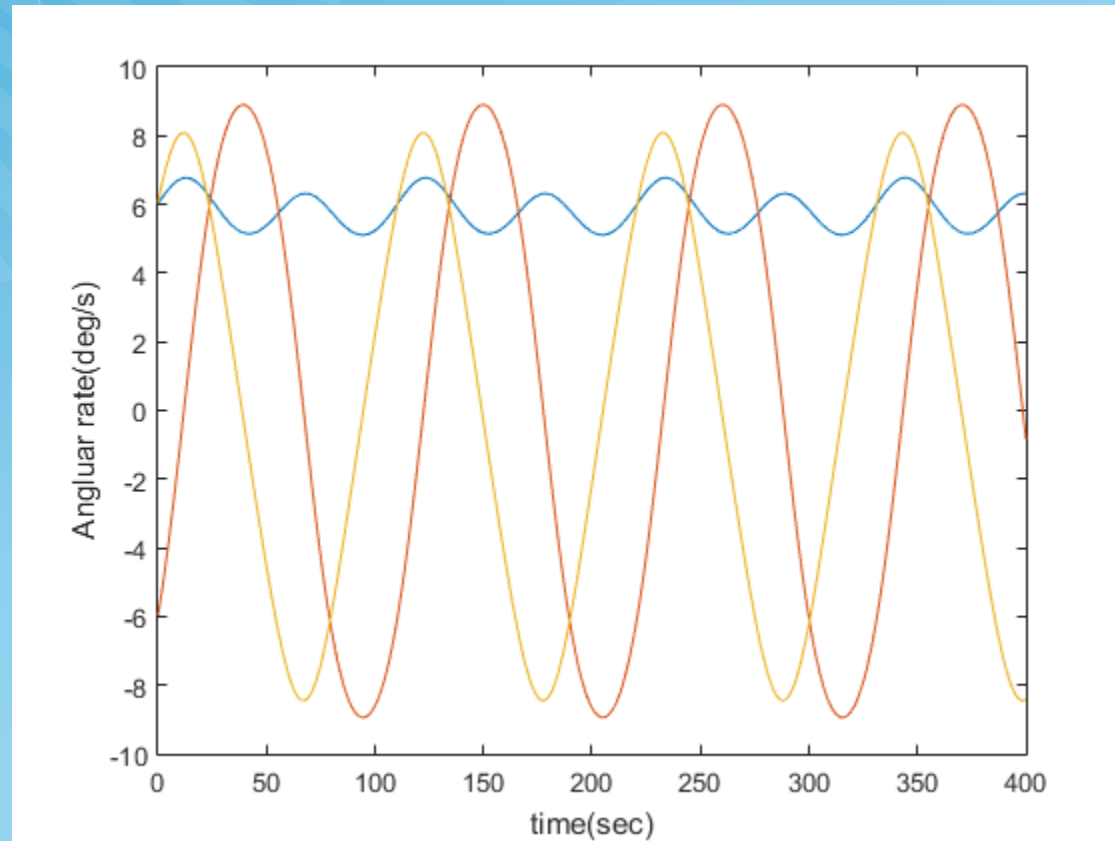
✓ Data rate : 10Hz

✓ Initial Error

- Attitude Err : Roll(0.18deg), Pitch(-0.22deg), Yaw(0.18deg)
- Position Err : 100m
- Velocity Err : 0.1m/s

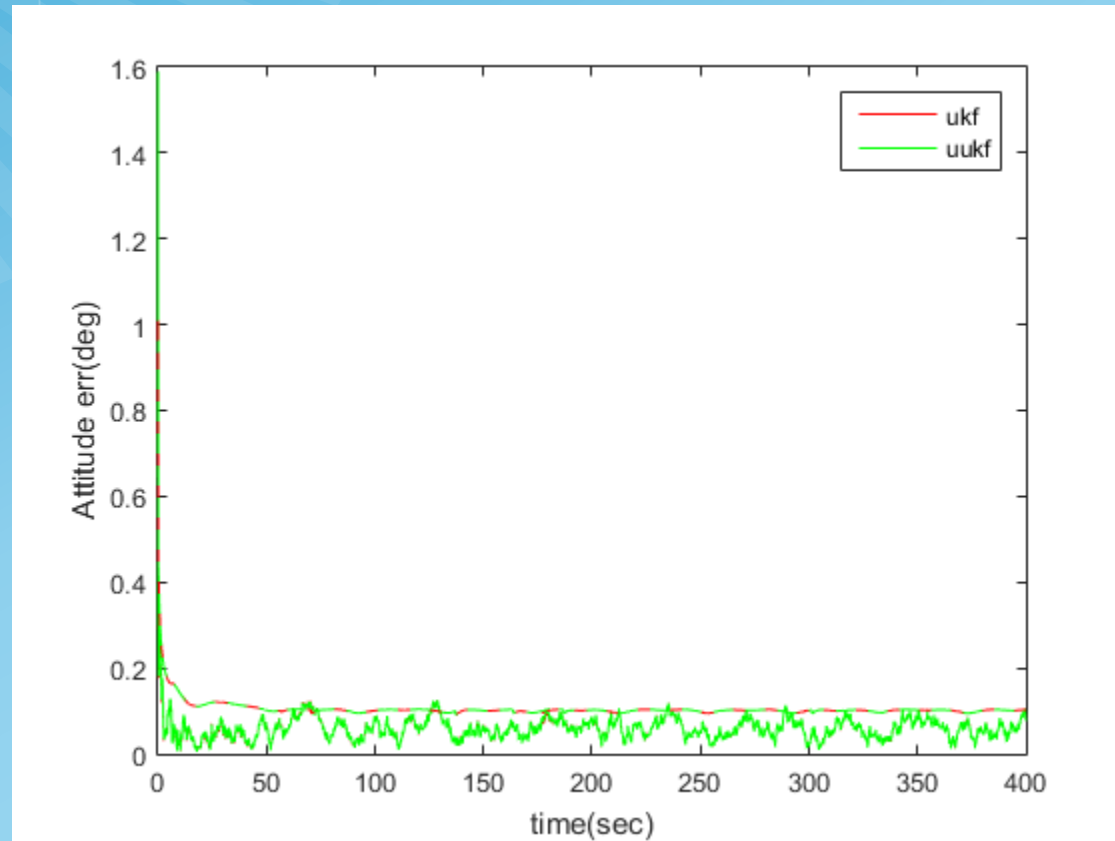
Simulation

- Sensor Spec.
- ✓ True Angular rate



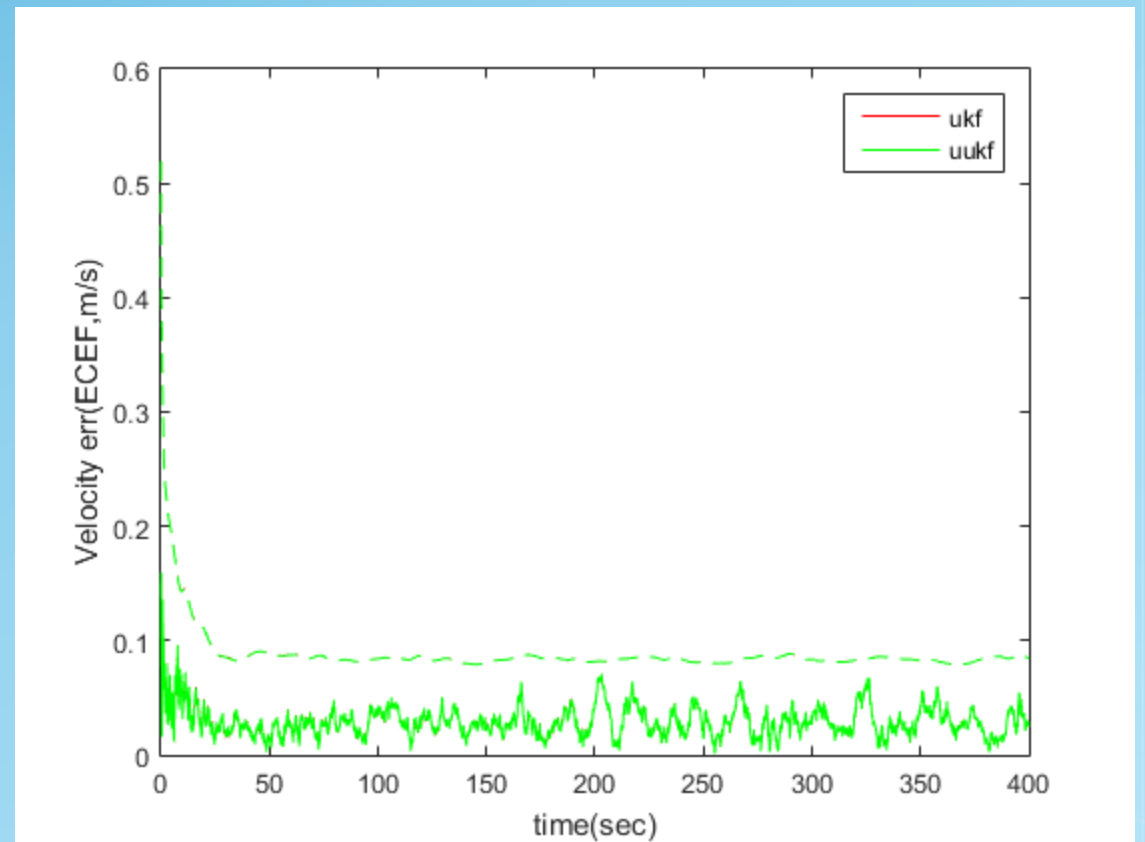
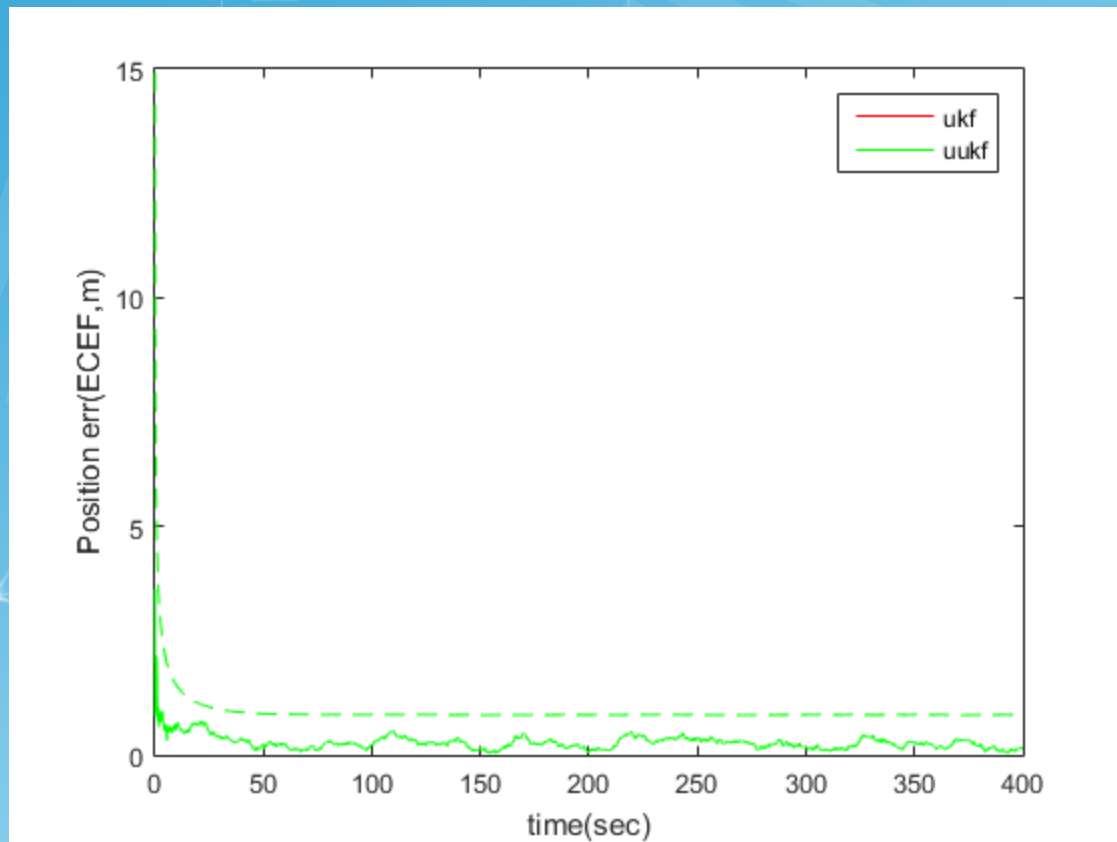
Simulation

Attitude Err



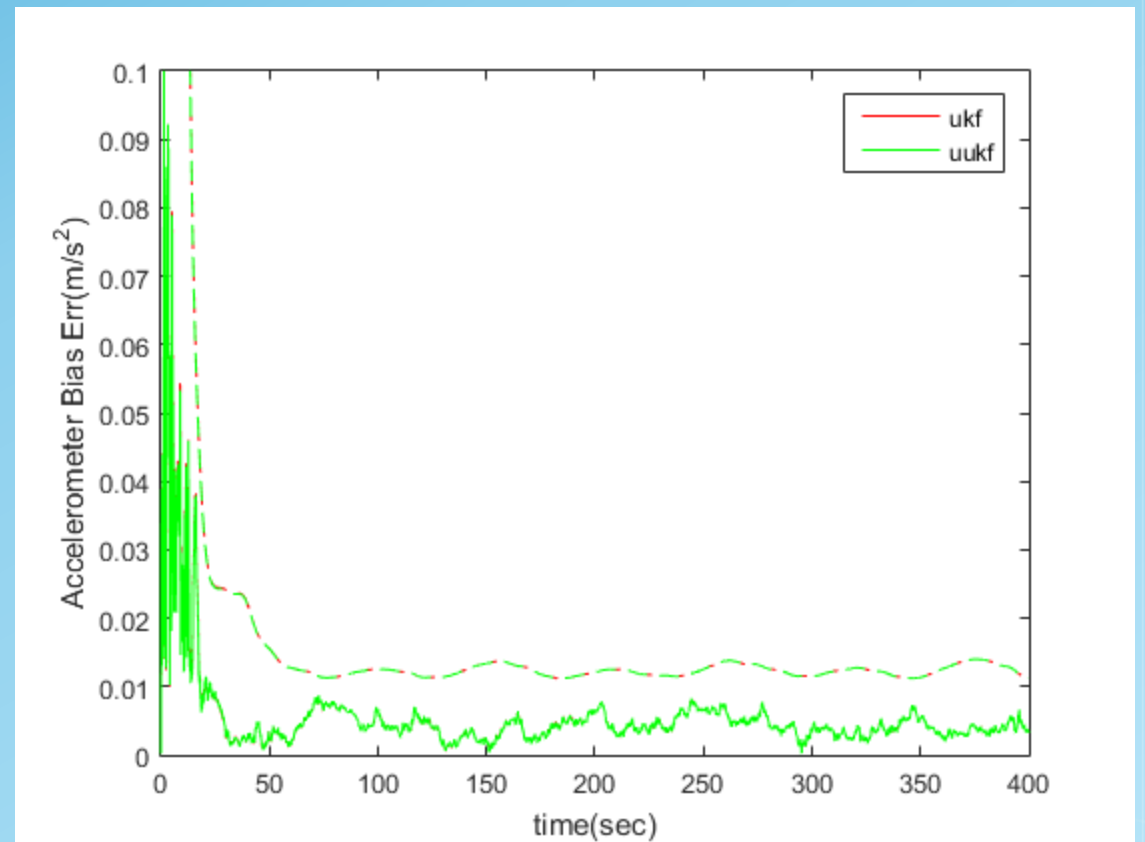
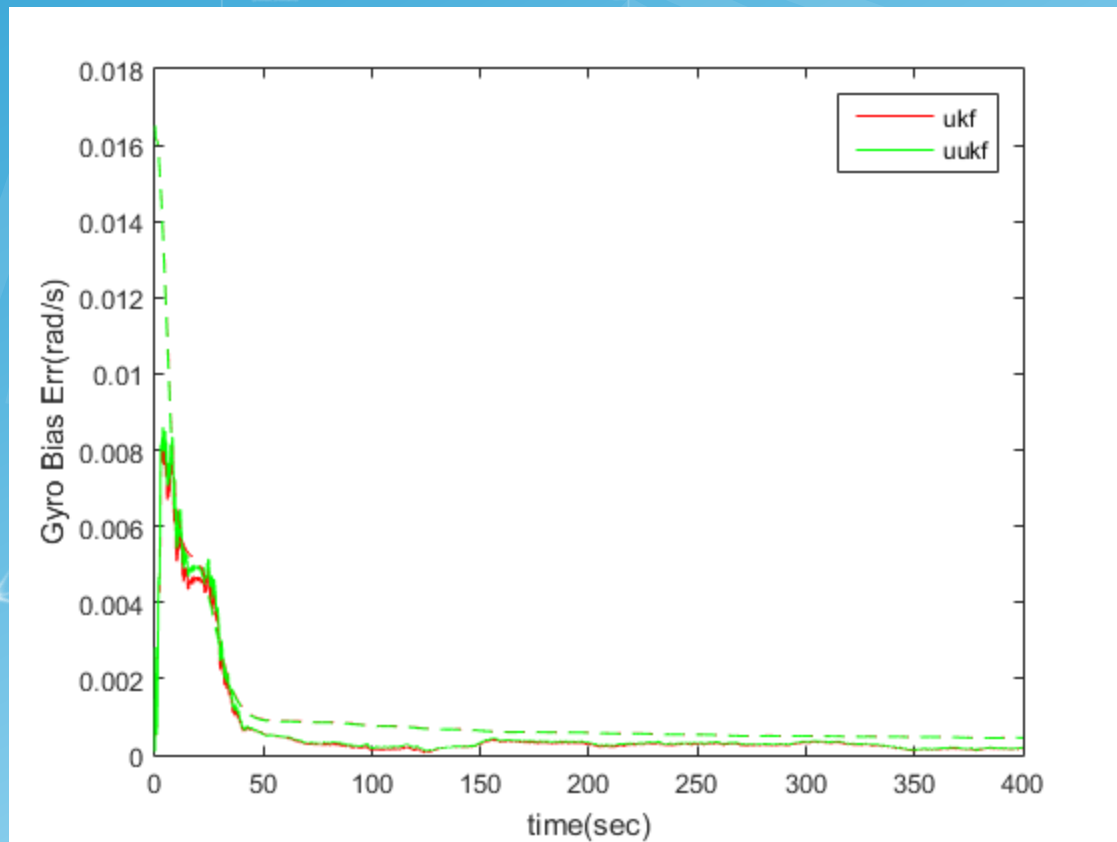
Simulation

Pos & Vel Err



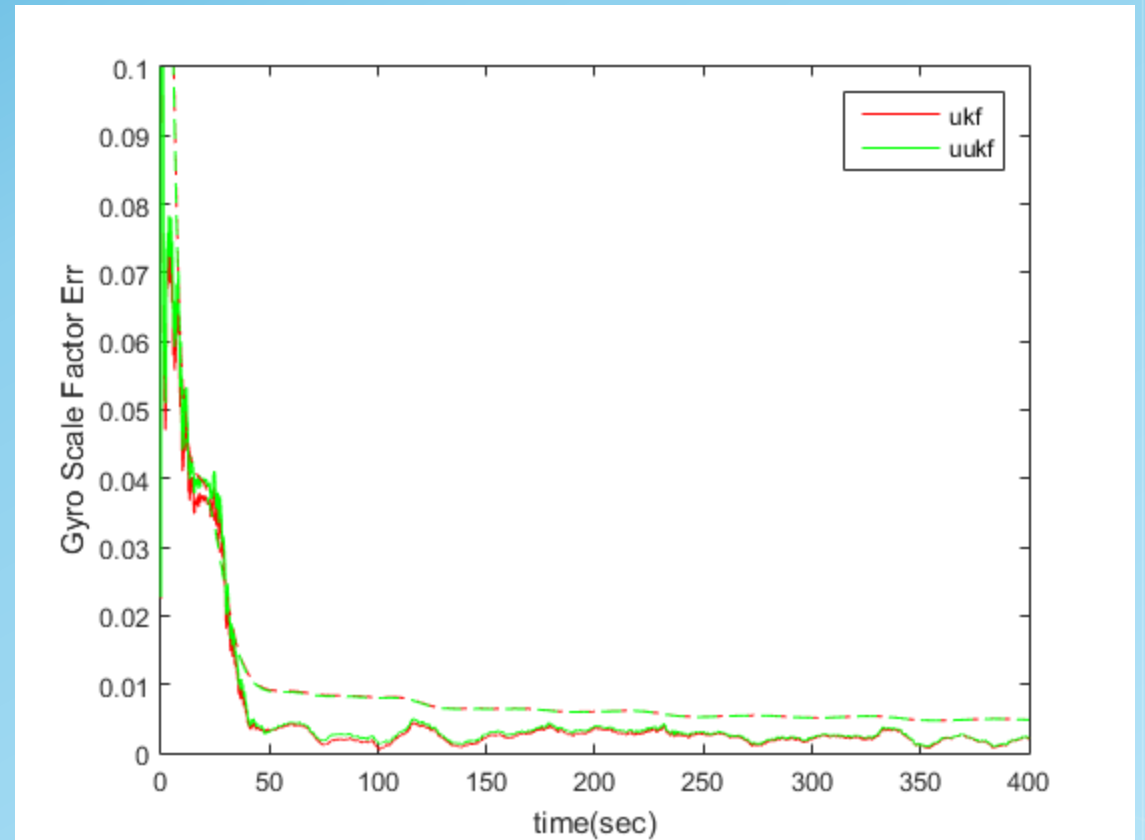
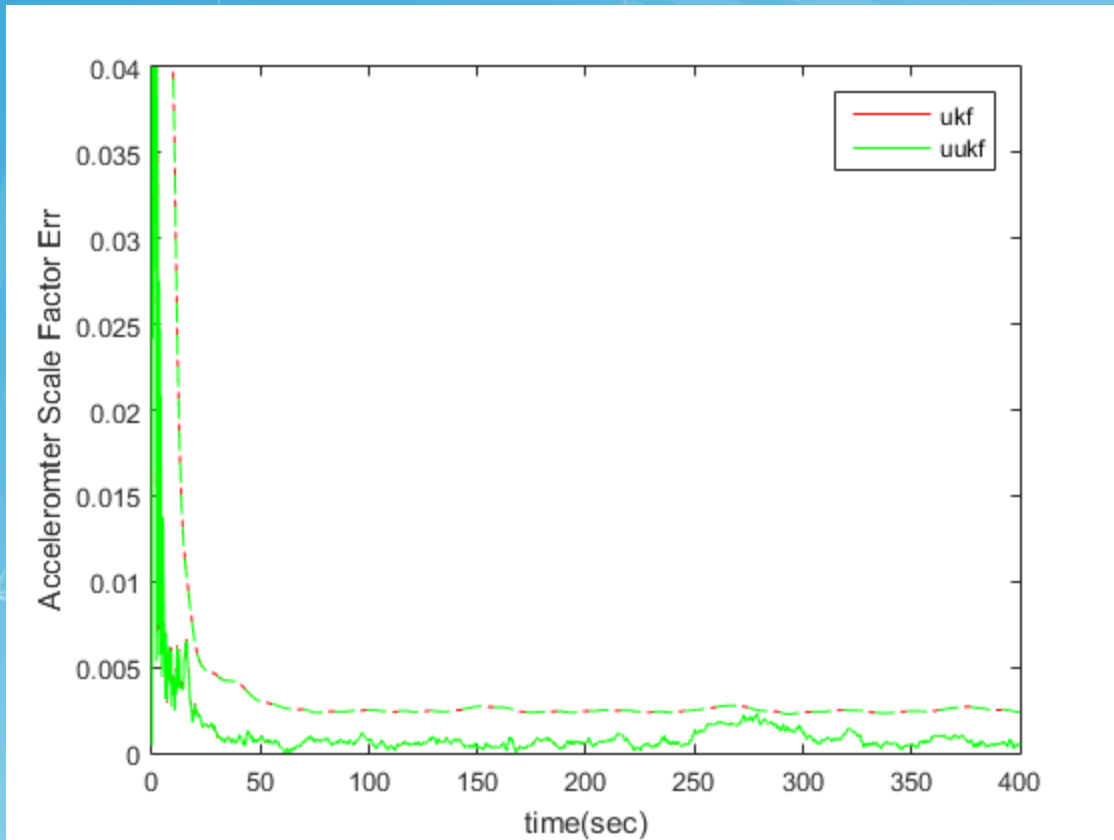
Simulation

□ Bias Err



Simulation

Scale Factor Err



Simulation

Run – Time

Unsented KF	318.022 sec
Uncorrelated UKF	268.086 sec

Result

- 본 연구에서는 기존의 UKF의 단점인 계산속도에 관한 부분을 개선 시키기 위해 개발 된 Uncorrelated UKF를 기반으로 비전센서, GPS, INS를 활용한 통합 항법 시스템을 구성하였다.
- UUF와 UKF의 시간과 오차를 비교한 결과 오차는 거의 유사한 결과가 나타났고 시간은 50초 정도 차이가 났다. 따라서 UUF가 기존의 UKF보다 빠른 시간에 같은 오차 수준으로 수렴하는 것을 확인했다.



Q

&

A